

基于光线落点分析的中国古建筑屋檐研究

付宗驰¹, 罗 畅¹, 刘玉豪¹, 裘鸿菲²

(1. 石河子大学 农学院, 新疆 石河子 832003; 2. 华中农业大学 园艺林学学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 以夏至、冬至、处暑、大寒真太阳时 12 时光线为关键节点时间光线, 经唐代至清代 26 个古建筑剖面图屋檐下沿绘制关键节点时间光线, 通过分析光线落点与檐柱的关系发现: 至晚到唐代中国古建筑就已经发展出了与光照相适应的气候适应性设计方法, 主要表现为建筑所在地处暑光线刚好落在建筑檐柱柱脚附近很小的范围内, 冬至日光线刚好落在檐柱顶部; 这种对光线的组织能够避免热季光线照射到建筑南立面, 而使冬至太阳光线可以照射到整个南立面柱身区域, 兼顾了冷热两季建筑对太阳辐射的需求, 表现出了良好的对于光照的适应性, 且这种适应性策略和设计方法被宋至明各代继承; 与历史上政治中心南北移动相关的光线适应性再设计, 应当是中国古建筑屋檐尺寸变化的原因。

关键词: 光线分析; 中国古建筑; 气候适应性; 屋檐

中图分类号: TU-02

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2022)03-0386-08

Research on Chinese ancient building eaves form the falling points of sunlight

FU Zongchi¹, LUO Chang¹, LIU Yuhao¹, QIU Hongfei²

(1. Agricultural College of Shihezi University, Shihezi University, Xinjing Shihezi 832003, China;

2. College of Horticulture and Forestry Science Huzhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: In this paper, the noon sunlight at Summer Solstice, End of Heat, Winter Solstice and Greater Cold, were the four key sunlight. Draw the key sunlight at eaves on 24 ancient building sections form Tang to Qing dynasties, by analyzing the law of sunlight falling points, it was found that: 1) no later than Tang Dynasty, the ancient buildings had developed a climate response design method—the local sunlight at the End of Heat just falls in a small area near the the eave pillar foot, the sunlight at Winter Solstice just falls on the top of the eave pillar, in this way, the entire south facade can be completely shaded in the hot season, and the sunlight from the weakest day (Winter Solstice) of solar radiation can irradiate the entire south façade pillar in the cold season, the building's demand for solar radiation during the hot and cold seasons had been taken into account; 2) the climate response strategy and design method were inherited by Song and Ming Dynasties; 3) the sunlight adaptability redesign as the political center latitude changes in history, should be the reason for the changes of the ancient Chinese building eaves dimension.

Key words: sunlight analysis; ancient Chinese building; climate response; eave

“建筑之始, 产生于实际需要, 受制于自然物理”, “莫不各自在其环境中产生”。“中国建筑乃一独立结构系统, 历史悠长…直至最近半世纪, 未受其他建筑之影响”^[1]。古建筑是人类经过历史上长期实践自然形成的^[2], 是一个民族自然观念、社会生活观念、审美观念等的综合体现^[3]。对于中国古建筑的研究有助于加深对建筑本质的理解, 有助于建筑类历史文化的保护, 也有助于指引中

国未来建筑的发展。

关于中国古建筑的传统研究开启于 1925 年“营造学会”的建立, 朱启铃、梁思成和刘敦桢等是这个时代的杰出代表人物, 他们开启了对于中国古建筑的测绘、保护和对《营造法式》的解读。随着测量技术的进步、研究方法的拓展, 直到现在这项工作不断取得阶段性研究成果, 丰富着人们对古代建筑的认知, 中国古代建筑设计理论不断得

收稿日期: 2021-05-12

修改稿日期: 2022-06-06

基金项目: 石河子大学科技成果转化基金项目(KX03090215)

第一作者: 付宗驰(1980—), 男, 硕士, 副教授, 主要从事地域气候适应性风景园林理论与实践研究。E-mail: fzch_agr@shzu.edu.cn

通信作者: 裘鸿菲(1962—), 女, 博士, 教授, 主要从事风景园林规划设计与理论方面研究。E-mail: qiuHongfei@hzau.edu.cn

以完善,研究主要有四个方面。一是关于单体遗存建筑实地测绘、数据分析的研究^[4-6],研究的着力点涵盖为古建筑的维修保护提供建议、解读对比印证《营造法式》技术理论、揭示古代建筑尺度规律^[7-8]等,屋檐作为建筑的一部分被淹没在整体木构架研究之中。二是比较型研究,通过对比、关联分析古代建筑发展。这类研究多是探究建造技术源流^[9-11],较多注重木构架或某类木构件做法的技术演变,屋檐作用及对自然环境的适应没有被系统提及。三是关于古建筑结构力学性能的研究^[12-14],为古建筑保护、维修等提供科学依据。四是中国古代建筑史^[15-17]研究中通过大量的实例全面介绍了中国古代建筑不同时期、不同区域、不同文化影响范围的建筑特征及发展,但在阐述建筑发展演绎时多是立足于政治、经济、工程技术、文化艺术等方面,对于自然环境的影响涉及较少或分析不足。

古建筑经由长期试错过程,由深谙当地资源、气候、技术的工匠建造而成,相比于现代建筑,更多地体现了关注气候的被动式建筑设计策略^[2]。因此,向传统学习是当下气候被动式建筑研究的重要途径。深屋檐不但是中国古建筑的典型特征,同样被广泛应用于亚洲、非洲和欧洲其他国家的传统建筑中。许多使用定性^[18-21]、实测验证^[22-24]和软件模拟^[25-28]的研究指出屋檐通过遮阳可有效缓解夏季炎热、改善室内光环境。相应地利用气候适应性原理研究古建筑亦是一个新途径。本研究考虑温度的影响,并以气候四要素之一的光照为着力点,以关键时间节点的光线为工具,来分析古建筑与光照的关系。

1 研究方法

24个研究对象,座北朝南的占60.87%,受地形影响非座北朝南的占21.74%,真正不明原因且非座北朝南的只占17.39%。分析过程中,将建筑均默认为坐北朝南。在建筑剖面图中,经建筑屋檐下沿绘制关键时间节点光线(图中自外向内依次为夏至、处暑、大寒、冬至光线),求出光线在建筑上的落影点。通过分析光线落点与建筑物的位置关系,寻找建筑与光线的适应规律,进而解读中国古建筑。

2 研究对象及其数据来源

以唐代至清代著名高等级建筑(有充足的建造资金,可充分集成当时先进的建造技术,最是中国古建筑最高水平的代表)为研究对象,具体研究对象的选择依据有三点:一是能够找到准确可靠

的建筑断面图;二是不同纬度分布;三是研究对象尽可能多。

地理位置即经纬度(主要是纬度),由“百度地图拾取坐标系统(<http://api.map.baidu.com/lbsapi/getpoint/index.html>)”查寻取得。关键时间节点太阳光线的高度角按照《太阳高度角和日出日落时刻太阳方位角一年变化范围的计算》^[29]计算取得。在本研究中屋檐高度和深度被分别定义为屋檐遮阳檐线到台明的垂直距离和该檐线到檐柱柱头中线的水平距离,详见图1(a)表示。由于对遮阳效果有直接影响的为屋檐高深比,因此通过将建筑断面图插入到CAD2016中量取屋檐高深的相对值(三次),最终取平均高深比。

3 关键时间节点光线

我国古代木构建筑多有模数关系,保证了在一定时期内建筑风格的统一。这种模数关系或许是以政治文化中心的都城所在地气候条件为依托发展而来的,因此在分析建筑过程中,除运用建筑所在地光线之外,都城光线也应当被纳入分析范畴。

对确定的某区域,太阳高度角变化是影响光照强度的最核心因素。通常太阳高度角越大地面接受到的太阳辐射强度越高。一天当中,最大太阳高度角出现在真太阳时12时。一年当中的真太阳时为12时,最大太阳高度角出现在夏至日,最小太阳高度角出现在冬至日。因此,在光线分析时选择夏至日与冬至日真太阳时12时光线作为两个关键的节点光线。

气温是人体热舒适最重要的影响因素之一,人们对光照的喜好是建立在不同温度基础之上的。低温喜好更多的太阳辐射,高温则偏好避光。基于人们在温度影响下对光照的喜好规律,处暑日(简言之本日之后气温逐渐降低)与大寒日(简言之本日之后气温逐渐升高)也被作为两个重要的时间节点日,而其太阳真时12时光线被选作为另外两个关键时间节点光线。

4 古建筑屋檐光线分析

4.1 唐代建筑

唐代建筑选择目前仅现存的南禅寺大殿(图1(a))、佛光寺东大殿(图1(b))、广仁王庙大殿(图1(c))和天台庵大殿^[30](图1(d))为研究对象,研究对象基本信息详见表1。

建筑所在地处暑光线刚好落在图1(a)~(c)建筑檐柱柱脚附近很小的范围内,冬至日光线刚好落在图1(a)、图1(b)檐柱顶部,落在图1(c)建筑外墙顶部。这样能够避免热季辐射强度最强时刻

的光线照射在屋身,而使冷季辐射强度最弱当天辐射强度最强的光线能够照射到屋身,在兼顾两季的基础上,表现出了良好的气候适应性。其中图1(c)建筑所在地与当时都城长安纬度接近,而同样表现出这样的规律,可以推测这三座建筑有

“本土化”的特质且在不历史上不断的修葺中得到了很好的尊重。图1(d)建筑与所在地光线之间无上述规律反应,可能是在后期的修葺过程中对其做了重大改变^[5]造成的。

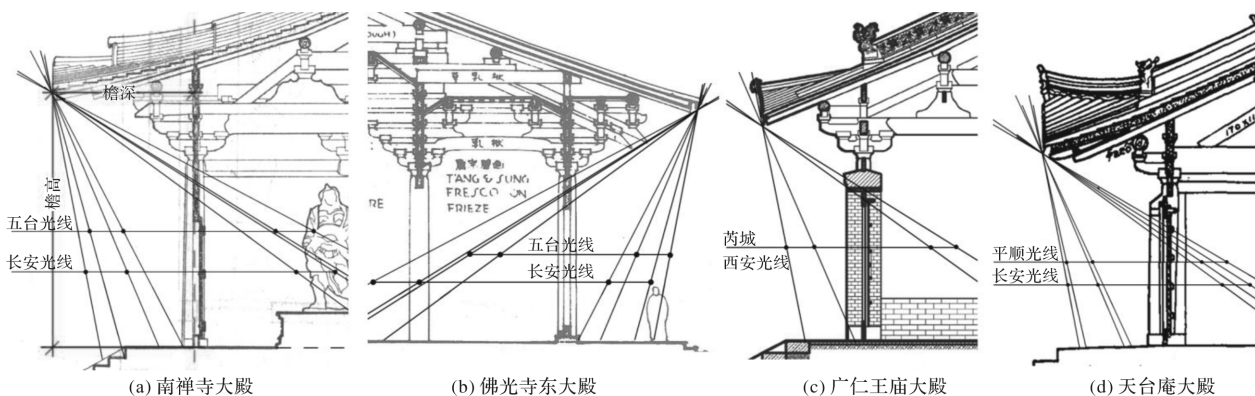


图1 光线与唐代建筑关系图

Fig. 1 Relationship between the sunlight and architecture of Tang Dynasty

4.2 宋、辽、金、元建筑

由于宋“虽在战争上屡败于辽、金,而文化上辽、金节节府首于汉族。文物艺术之动向,唯宋是瞻^[1]”,因此此阶段都城取北宋都城开封,研究对象选择独乐寺观音阁(图2(a))、永寿寺雨花宫(图2(b))、北岳庙德宁殿(图2(c))、正定县文庙大成殿(图2(d))、佛宫寺释迦塔(图2(e))、独乐寺山门(图2(f))、玄妙观三清殿(图2(i))、隆兴寺转轮藏殿(图2(j))、广济寺三大士殿(图2(k))、善化寺三圣殿(图2(m))、永乐寺三清殿(图2(n))、保国寺大殿(图2(p)),这些建筑的基本信息详见表1。

开封处暑日光线落在建筑台面上的落点位于图2(p)、图2(a)建筑檐柱柱脚较远的位置,位于图2(b)~(i)檐柱柱脚外侧很近的位置,位于图2(j)~(n)建筑檐柱中心线附近。建筑所在地处暑日光线在建筑台面上的落点位于图2(i)、图2(p)建筑檐柱外侧较远处,位于图2(a)建筑檐柱柱脚外侧,位于图2(b)~(e)建筑檐柱中心线附近,位于图2(f)、图2(j)~(m)建筑檐柱内侧。

从分析结果看,如若这些建筑的气候适应性参照的是建筑所在地光照,图2(a)建筑则与唐代建筑表现一致;图2(b)~(e)建筑虽与唐代建筑的表现略有不同(处暑日光线照射到柱体及墙面底部,或照射到檐柱内侧较小的范围内),但亦可以解释为这些建筑比唐代建筑更加注重冷季的气候适应;而图2(i)和图2(p)建筑在南方而采取更加遮阳的热季气候适应策略;但如若将这些建筑作为一个整体来看,图2(f)及图2(j)~(m)建筑无法得到很好的解释,虽说也有这三个建筑依

据自身环境的需要采取了更加注重冬季采暖的可能性。

如若这些建筑的气候适应性参照的是开封光照,则图2(b)~(i)建筑与唐代建筑表现出惊人的一致性,即处暑日光线在建筑台面上的落点位于檐柱柱脚外侧很近的位置;图2(a)建筑可解释为因多种制约因素的影响而采取了减小檐柱高从而使檐出与檐高比例增大^[4],从而导致处暑日光线落点外移;图2(p)建筑可解释为由于地处南方,更加注重热季的遮阳;图2(j)~(n)建筑处暑日光线落点位于檐柱中心线附近,虽与唐代建筑气候适应性表现略有不同,但依然满足对于光照的气候适应性规律,且表现稳定。另外,仔细分析可见总体而言,图2(b)~(f)建筑及图2(j)~(m)建筑随着建筑所在地纬度的增大,光线的落点逐渐向檐柱中心线内侧移动,即随着纬度增加建筑在气候适应性策略选择上越来越注重冷季使建筑屋身更多受到太阳辐射,这是否可解读为依据某一典型气候区光照设计出的气候适应性建筑在一定的地理范围内是适用的?

综合以上分析,考虑到该时期是中国建筑发展史上一个承上启下的阶段,该时期建筑气候适应性设计应当是参照当时文化、政治、经济中心开封的光照条件来制定的。同时,参照首都光照制定的气候适应性建筑似乎在一定地域范围内亦有对建筑所在地光照较好的气候适应性。但在与文化中心较远的南方或北方,亦有部分建筑采取适应当地气候特点的气候适应性措施(如图2(a)、图2(p))。另外,在满足对于光照气候适应性规律的前提下,处暑日光线在建筑台面上的落点似乎

有两种选择——檐柱柱脚外侧很近的位置(图 2(b) ~ (i))和檐柱中心线附近(图 2(j) ~ (n)).

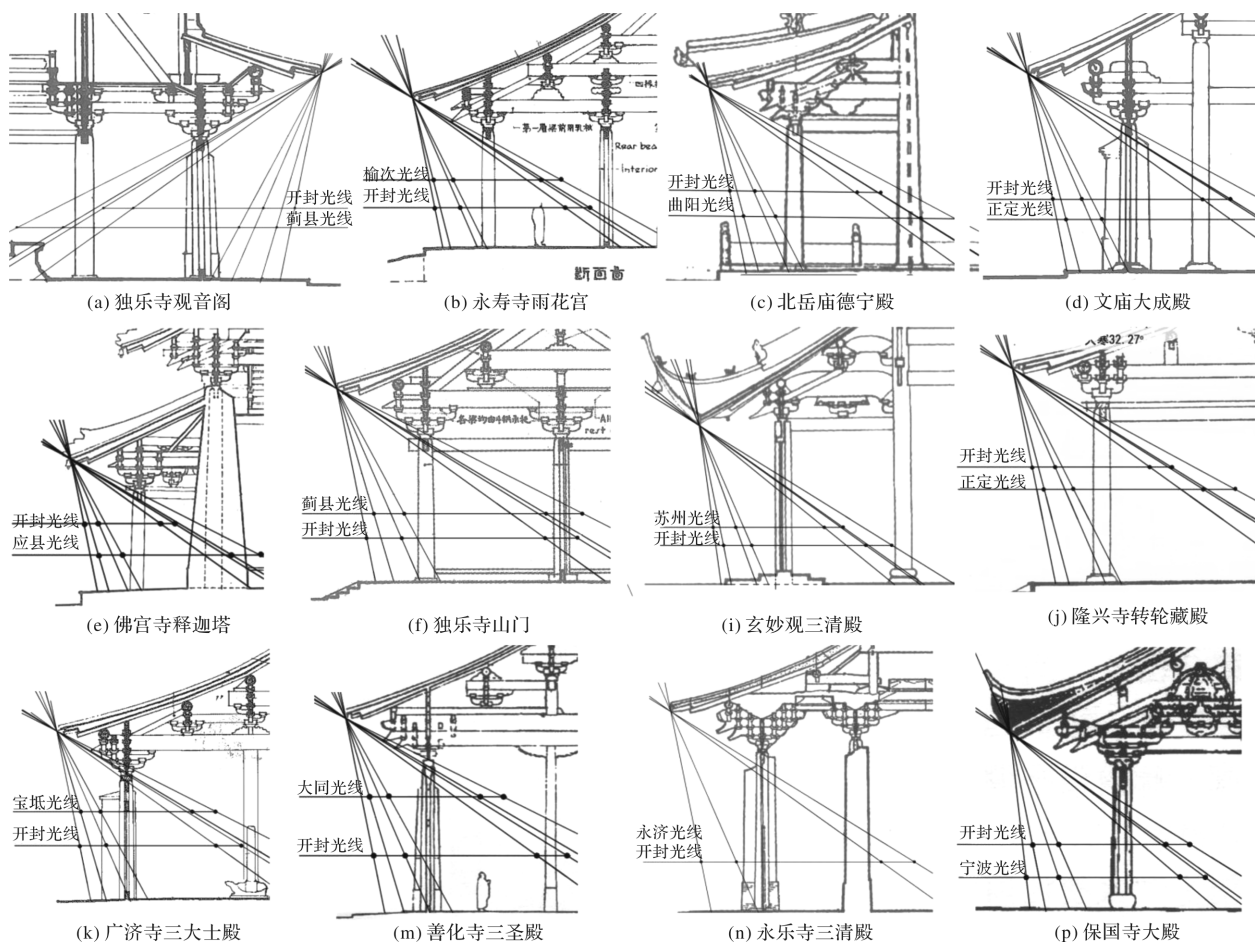


图 2 光线与宋、辽、金、元建筑关系图

Fig. 2 Relationship between the sunlight and architecture of song, Liao, Jin and Yuan Dynasties

如果以上结论成立,则可推测出两层含义:一是《营造法式》的编著团队对建筑的气候适应性有明确的认识,并以开封的地理位置作为参照编制了《营造法式》;二是《营造法式》这种以“材”为基本模数的设计方法^[31]虽没有对各部件做绝对要求,但在后续运用中制约工匠对气候适应性理解与把握,另外在一定地域范围内对于建筑风格推广、建筑质量保证均能起到重要的积极意义。

4.3 明、清建筑

明、清建筑选择明长陵祿恩殿(图 3(a))、紫禁城太和殿(图 3(b))、故宫文渊阁(图 3(c))、报恩寺华严藏殿(图 3(d))、报恩寺大雄宝殿(图 3(e))、紫禁城午门正楼(图 3(f))、太庙中殿(图 3(g))、太庙后殿(图 3(h))为研究对象,建筑基本信息详见表 1。

建筑所在地夏至日光线在建筑台面上的落点,位于在图 3(a)~(c)建筑檐柱柱脚外侧很近处,位于图 3(f)~(i)建筑外侧较远处,位于图 3(d)、3(e)很远处,表现很不稳定。总体而言这些建筑的

气候适应性不是参考所在地夏至日光线而设计。

建筑所在地处暑日光线在建筑台面上的落点,位于图 3(a)~(c)及图 3(f)~(i)建筑檐柱内侧非关键位置,位于图 3(d)、3(e)建筑檐柱中心线。考虑到图 3(d)、3(e)建筑所在地平武县与明代第一都城南京纬度接近,其表现出的与宋代建筑做法类似的气候适应性设计当是参考南京光线的无意而为,并不是主动适应所在地气候的有意做法。总体而言,这些建筑的气候适应性亦不是参照所在地处暑日光线而设计。

南京处暑日光线在建筑台面上的落点,位于图 3(a)~(e)建筑檐柱中心线,位于图 3(f)~(i)檐柱柱脚外侧。这种表现与宋代建筑如出一辙,即该时期建筑气候适应性设计应当是参照当时文化、政治、经济中心南京的光照条件制定的,且处暑日光线在建筑台面上的落点有两种选择——檐柱柱脚外侧很近的位置或檐柱中心线附近。作为明、清两朝都城,但建筑却沿用以南南京(北京与南京纬度相差约 7.5°)气候为参照制定的规制,原因有待进一步研究。

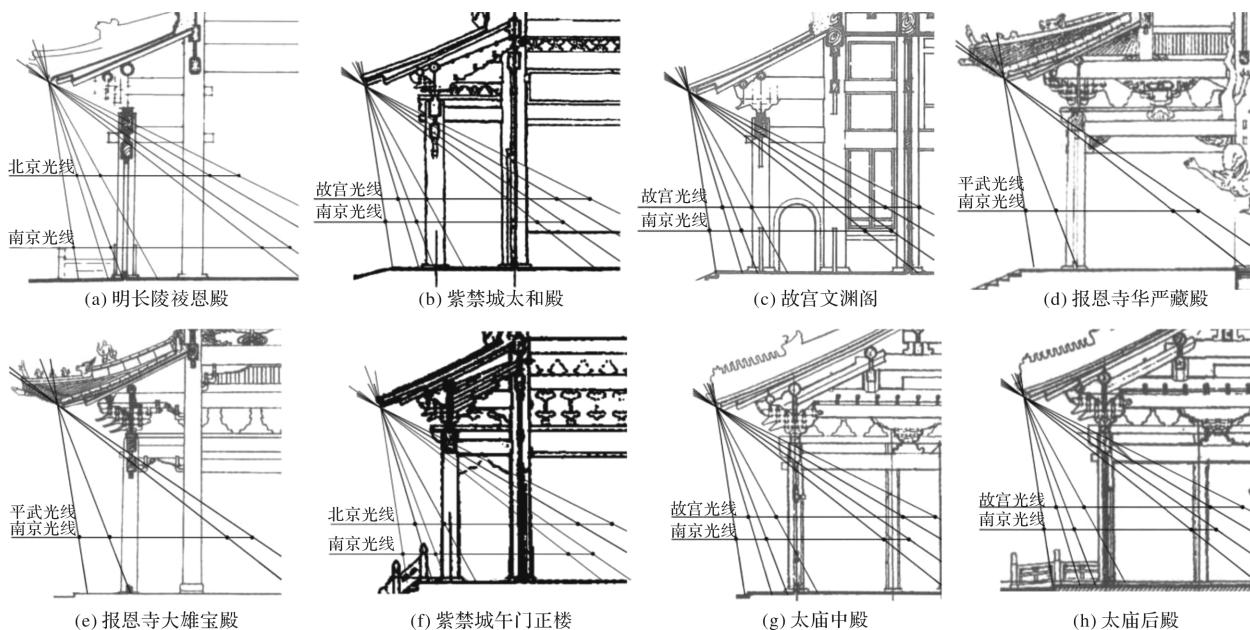


图3 光线与明、清建筑关系图

Fig. 3 Relationship between the sunlight and architecture of Ming and Qing

4.4 建筑朝向

建筑朝向对屋檐的遮阳效果有重要影响^[32-34]。中国古建筑有座北朝向的传统,该传统朝向也被认为是最优的^[35],但研究对象中依然有约39%的建筑朝向非坐北朝南,同时它们又与其他建筑保持与光线适应的一致性规律,即光线落点位置基本相同。原因可能有以下两个方面:一是并非所有古建筑均进行与其所在场地相结合的气候适应性设计,而是在外观上与本区域的建筑保持基本一致;二是木头的材料强度已经被充分挖掘,无法再通过增加出檐深度实现安全完美的遮阳。

4.5 屋檐遮阳规律

利用画法几何和阴影透视原理,不同时刻(10:00、10:30、11:00、12:00、13:00、13:30、14:00)建筑屋檐与太阳光线的关系如图4。由图4可发现坐北朝南建筑的屋檐热季12:00遮阳效果是最差的,即只要12:00能够实现南正面的充分遮阳,其他时刻均能实现充分遮阳(本文研究对象均适用此规律)。同样可得到冷季12:00遮阳效果最好,即12:00建筑南墙面受到的太阳照射比例最大。

4.6 屋檐高深比

表1列出了建筑的高深比,唐代建筑平均高深比为1.90(天台庵大殿屋檐与光线的关系与其他相差太大,排除在统计之外),宋、辽、金、元建筑为2.09,明、清建筑为2.50。由此看出中国古建筑屋檐高深比有随时间逐渐增大的现象,虽然高深比的定义略有不同但李晖^[36]研究中的数据也支

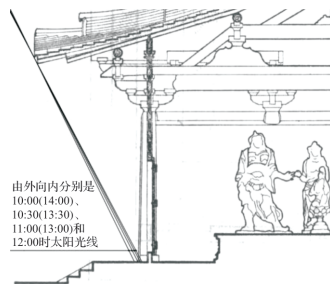


图4 热季不同时刻光线与屋檐的关系

Fig. 4 Relationship between the sunlight and eaves at different times in hot season

持该现象的存在。本研究发现唐代建筑气候适应设计参照的是当地光线,平均纬度为 37.44° ;宋—元参照的是开封光线,纬度为 34.80° ;明清建筑参照的是南京光线,纬度为 32.04° 。高深比与纬度结合可以发现,随着气候适应设计参照地纬度的增加屋檐高深比减小,粗略分析这与中国古建筑屋檐执行一致的遮阳策略相关。纬度低相应的太阳高度角高,同样实现南立面恰好的全部遮阳需要的屋檐高深比就大,反之亦然。由此可以推断,随着历史上政治中心的南北移动,建筑与参照地光线的气候适应性设计带来了中国古建筑屋檐尺寸的变化。

5 结论与不足

5.1 结论

(1)中国古建筑屋檐至晚到唐代,就已经发展出了与光照相适应的气候适应性设计方法。实质是避免热季(4月19日—8月22日之间的126 d)

光线照射在屋身,而使冷季辐射强度最弱当天光线能够照射到整个屋身,从而兼顾冷热两季人们对太阳辐射的不同需求.而且当时建筑的设计者能够很好地运用这种方法,并依据建筑所在地的气候条件设计并建造出气候适应性建筑.同时中国古建筑气候适应性也存在与具体朝向不能完美匹配的不足.

(2)从宋、明建筑屋檐均能够实现与自己都城的光照相适应来看,这种气候适应性建筑设计及建造技术,并没有随着战乱与朝代更迭而失传,而是被完整地传承下来.

(3)明朝掌握气候适应性设计的技术,但出于某种考虑在迁都北京时可能沿用了基于南京光照的气候适应性屋檐.又或许是随着政治中心的北移,建筑热舒适面临的突出矛盾发生了重大变化,建筑气候适应性策略也随之主动发生变化,有待进一步研究.

四、光线适应设计参照地纬度的变化带来了中国古建筑屋檐尺寸的变化.

5.2 不足

本研究基于分析光线落点与檐柱的关系图得到相关结论,虽然通过图可以清晰地展示它们之间的关系,但在对比中只能使用描述性语言分析解读,得益于屋檐与光线适应关系的稳定存在,使得此方法才得以可行.同时也期待研究者设计出基于数据统计分析的方法开展相关的研究.

图片来源

文中图片均为作者改绘,原图来源如下:图 1(a)引自文献[15],图 1(b)、图 2(b)~(c)、图 2(d)~(f)、图 2(j)~(k)、图 3(a)、图 3(c)、图 3(c)引自文献[1],图 1(c)底图引自文献[30],图 1(d)底图引自文献[5],图 2(a)、图 2(i)、图 2(n)、图 3(b)、图 3(d)~(i)底图引自文献[10],图 2(m)、图 2(p)底图引自文献[37]

表 1 古建筑基本信息汇总表
Tab. 1 Summary of basic information of ancient buildings

图号	名称	朝向/(°)	地理位置		关键节点光线太阳高度角				屋檐高
			经度/(°)	纬度/(°)	夏至/(°)	处暑/(°)	冬至/(°)	大寒/(°)	深比
图 1a	南禅寺大殿	90	113.13	38.71	74.72	62.60	27.85	31.71	1.79
图 1b	佛光寺大殿	−13.62	113.40	38.88	74.55	62.43	27.68	31.54	1.79
图 1c	广仁王庙大殿	0	110.69	34.73	78.70	66.58	31.83	35.69	2.13
图 1d	天台庵大殿	0	113.41	36.39	77.04	64.92	30.17	34.03	1.52
图 2a	独乐寺观音阁	5.31	113.18	39.58	73.85	61.73	26.98	30.84	1.72
图 2b	永寿寺雨花宫	5.25	112.75	37.68	75.75	63.63	28.88	32.74	1.96
图 2c	北岳庙德宁殿	0	115.57	38.48	74.95	62.83	28.08	31.94	2.08
图 2d	正定县文庙大成殿	0	114.57	38.15	75.28	63.16	28.41	32.27	1.96
图 2e		佛宫寺释迦塔	0	113.18	39.58	73.85	61.73	26.98	30.84
图 2f	独乐寺山门	5.31	117.41	40.05	73.38	61.26	26.51	30.37	2.22
图 2i	玄妙观三清殿	−8.34	120.58	31.30	82.13	70.01	35.26	39.12	1.89
图 2j	隆兴寺转轮藏殿	0	114.57	38.15	75.28	63.16	28.41	32.27	2.38
图 2k	广济寺三大士殿	0	117.30	39.72	73.71	61.59	26.84	30.70	2.44
图 2m	善化寺三圣殿	0	113.30	40.12	73.32	61.19	26.44	30.30	2.38
图 2n	永乐寺三清殿	0	110.42	34.88	78.55	66.43	31.68	35.54	2.56
图 2p	报国寺大殿	−41.67	121.56	29.86	83.57	71.45	36.70	40.56	1.59
图 3a	明长陵祔恩殿	6.51	116.20	40.22	73.21	61.09	26.34	30.20	2.50
图 3b	紫禁城太和殿	0	116.38	39.92	73.51	61.39	26.64	30.50	2.63
图 3c	故宫文渊阁	0	116.38	39.92	73.51	61.39	26.64	30.50	2.50
图 3d	报恩寺华严藏殿	−90	104.53	32.42	81.01	68.89	34.14	38.00	2.63
图 3e	报恩寺大雄宝殿	−90	104.53	32.42	81.01	68.89	34.14	38.00	2.56
图 3f	紫禁城午门正楼	0	116.38	39.92	73.51	61.39	26.64	30.50	2.44
图 3g	太庙中殿	0	116.38	39.92	73.51	61.39	26.64	30.50	2.38
图 3i	太庙后殿	0	116.38	39.92	73.51	61.39	26.64	30.50	2.33
首都-唐	长安	0	108.96	34.31	79.12	67.00	32.25	36.11	/
首都-宋	开封	5.25	114.36	34.80	78.63	66.51	31.76	35.62	/
首都-明	南京	4.74	118.80	32.04	81.40	69.35	34.52	37.87	/
首都-明、清	北京	0	116.40	39.92	73.51	61.39	30.50	26.64	/

注:朝向以坐北朝南为 0,南偏东取负值、南偏西取正值。

参考文献 References

- [1] 梁思成. 梁思成全集(第四卷)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
LIANG Sicheng. Complete works of sicheng liang, IV [M]. Beijing: Building Press, 2001.
- [2] 郝石盟, 宋晔皓. 不同建筑体系下的建筑气候适应性概念辨析[J]. 建筑学报, 2016(9): 102-107.
HAO Shimeng, SONG Yehao. An analysis of the concepts of climate response under various architectural systems[J]. Architectural Journal, 2016(9): 102-107.
- [3] 吴国源, 周庆华. 中国建筑传统的思想特征及其解释方法问题初探[J]. 西安建筑科技大学学报(社会科学版), 2017, 36(3): 56-63.
WU Guoyuan, ZHOU Qinghua. A brief discussion about the ideological characteristics and the interpretation method of chinese architectural tradition[J]. Journal of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Social Science Edition), 2017, 36(3): 56-63.
- [4] 陈明达. 独乐寺观音阁、山门的大木作制度(下)[J]. 建筑史论文集, 2002, 16(2): 10-30, 290.
CHEN Mingda. Executive summary of the system of the main wooden structure embedded in the buddhisatva pavilion and the main entrance of the dule temple [J]. Anthology of Architectural History, 2002, 16 (2): 10-30, 290.
- [5] 王春波. 山西平顺晚唐建筑天台庵[J]. 文物, 1993 (6): 34-43, 101.
WANG Cunbo. Tiantai temple of late Tang architecture in Pingshun, Shanxi [J]. Cultural Relics, 1993 (6): 34-43, 101.
- [6] 清华大学建筑设计研究院. 佛光寺东大殿建筑勘察研究报告[M]. 北京: 文物出版社, 2011.
The Architectural Design & Research Institute of Tsinghua University. Research report on architectural survey of east Hall of Foguang Temple [M]. Beijing: Cultural Relic Press, 2001.
- [7] 王贵祥. 关于唐宋单檐木构建筑平立面比例问题的一些初步探讨[J]. 建筑史论文集, 2002, 15(1): 50-64, 258-9.
WANG Guixiang. Some primary discussion on rules of proportion in plans and elevations of single-eave buildings of tang-song periods [J]. Anthology of architectural history, 2002, 15(1): 50-64, 258-9.
- [8] 肖旻. 佛光寺东大殿尺度规律探讨[J]. 建筑学报, 2017(6): 37-42.
XIAO Min. Measurement regulations of the main hall of foguangsi [J]. Architectural Journal, 2017 (6): 37-42.
- [9] 张十庆. 《营造法式》的技术源流及其与江南建筑的关联探析[J]. 美术大观, 2015(4): 106-109.
ZHANG Shiqing. On the technical origin of "building French style" and its relationship with Jiangnan architecture [J]. Art Panorama, 2015(4): 106-109.
- [10] 曹汛. 草架源流[J]. 中国建筑史论汇刊, 2013(1): 3-35.
CAO Xun. Evolution of Caojia [J]. Journal of Chinese Architecture History, 2013(1): 3-35.
- [11] 肖旻. 试论古建筑木构架类型在历史演进中的关系[J]. 华夏考古, 2005(1): 69-74.
XIAO Min. On the relation of the types of timber structural frames in ancient buildings in the evolution of history [J]. Huaxia Archaeology, 2005(1): 69-74.
- [12] 薛建阳, 董金爽, 夏海伦, 等. 不同松动程度下古建筑木结构透榫节点弯矩-转角关系分析[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2018, 50(5): 638-644.
XUE Jianyang, DONG Jinshuang, XIA Hailun, et al. Moment-rotation relationship of through-tenon joints under different degree of looseness in ancient wooden buildings [J]. Journal of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2018, 50 (5): 638-644.
- [13] 赵鸿铁, 张海彦, 薛建阳, 等. 古建筑木结构燕尾榫节点刚度分析[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2009, 41(4): 450-454.
ZHAO Hongtie, ZHANG Haiyan, et al. The stiffness analysis on the characteristic of mortise-tenon joint in historical timber buildings [J]. Journal of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2009, 41(4): 450-454.
- [14] 胡卫兵, 杨佳, 吴严辉, 等. 交通荷载作用下古建筑木结构柱顶水平速度计算研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2019, 51(3): 315-320.
HU Weibing, YANG Jia, WU Yanhui, et al. The calculation of ancient wooden pillars horizontal velocity under the traffic load [J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2019, 51 (3): 315-320.
- [15] 刘敦桢. 中国古代建筑史[M]. 第二版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1984.
LIU Dunzhen. History of ancient Chinese architecture [M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 1984.
- [16] 中国科学院自然科学史研究所. 中国古代建筑技术史[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
The Institute for the History of Natureal Sciences, Chinese Academy of Sciences. History of ancient Chinese architectural technology [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016.
- [17] 潘谷西. 中国建筑史[M]. 第五版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
PAN Guxi. History of Chinese architecture [M]. 5th ed. Beijing: China Architecture & Building Press,

- 2003.
- [18] ATOLAGBE A M O, FADAMIRO J A. Indigenous African building techniques and the prospects for sustainable housing and environmental development[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2014, 16(5): 1041-1051.
- [19] TAHBAZ M. Primary stage of solar energy use in architecture-Shadow control[J]. *Journal of Central South University*, 2012, 19(3): 755-63.
- [20] PHILOKYPPOU M, MICHAEL A, MALAKTOU E, et al. Environmentally responsive design in Eastern Mediterranean: The case of vernacular architecture in the coastal, lowland and mountainous regions of Cyprus[J]. *Building and Environment*, 2017, 111: 91-109.
- [21] KIM E Y. An analysis on the passive environmental control methods of Korean traditional architecture[J]. *Journal of the Korean Institute of Culture Architecture*, 2017, 57:237-245.
- [22] GOU S Q, LI Z G, ZHAO Q, et al. Climate responsive strategies of traditional dwellings located in an ancient village in hot summer and cold winter region of China[J]. *Building and Environment*, 2015, 86: 151-165.
- [23] 祝立萍,陈夏琳,黄志甲,等.徽州传统民居24节气的热环境实测分析[J]. *建筑科学*, 2020, 36(2): 67-78.
ZHU Liping, CHEN Xialin, HUANG Zhijia, et al. Thermal environment of 24 solar terms in huizhou traditional residences[J]. *Building Science*, 2020, 36(2): 67-78.
- [24] XIE M J, ZHANG G Q, ZHOU J, et al. A field study of the shading design and its effect in a Chinese traditional folk house[M]. Hunan: Hunan Univ, 2009.
- [25] BOJIĆ M, CVETKOVIĆ D, BOJIĆ L. Optimization of geometry of horizontal roof overhangs during a summer season[J]. *Energy Efficiency*, 2016, 10(1): 41-54.
- [26] KORJENIC A, KLARIĆ S. The revival of the traditional Bosnian wood dwellings[J]. *Energy Efficiency*, 2011, 4(4): 547-558.
- [27] HOOFF T V, BLOCKEN B, TIMMERMAN H J P, et al. Analysis of the predicted effect of passive climate adaptation measures on energy demand for cooling and heating in a residential building[J]. *Energy*, 2016, 94:811-820.
- [28] ZHOU Z, LAU B. The daylighting benefit of Chinese traditional eave corner structure-Nen Qiang Fa Qiang: Daylighting study of canglang pavilion in Suzhou[M]. Chinese Univ Hong Kong, Shatin: Sch Architecture, 2018.
- [29] 王国安,米鸿涛,邓天宏,等.太阳高度角和日出日落时刻太阳方位角一年变化范围的计算[J]. *气象与环境科学*, 2007(S1): 161-4.
WANG Guo'an, MI Hongtao, DENG Tianhong, et al. Calculation of the change range of the sun high angle and the azimuth of sunrise and sunset in one year[J]. *Meteorological and Environmental Sciences*, 2007 (S1): 161-4.
- [30] 贺大龙.山西芮城广仁王庙唐代木构大殿[J]. *文物*, 2014(8): 69-80.
HE Dalong. Tang dynasty wooden hall of Guangrenwang temple, Ruicheng, Shanxi Province[J]. *Cultural Relics*, 2014(8): 69-80.
- [31] 成丽.宋《营造法式》研究史初探[D].天津:天津大学, 2010.
Cheng Li. The summary reviews of yingzaofashi study history[D]. Tianjin: Tianjin University, 2010.
- [32] PACHECO R, ORDONEZ J, MARTINEZ G. Energy efficient design of building: A review[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16(6): 3559-3573.
- [33] GALAL K S. The impact of classroom orientation on daylight and heat-gain performance in the Lebanese Coastal zone[J]. *Alexandria Engineering Journal*, 2019, 58(3): 827-839.
- [34] VALLADARES-RENDON L G, SCHMID G, LO S-L. Review on energy savings by solar control techniques and optimal building orientation for the strategic placement of facade shading systems[J]. *Energy and Buildings*, 2014, 140:458-479.
- [35] FLORIDES G A, TASSOU S A, KALOGIROU S A, et al. Measures used to lower building energy consumption and their cost effectiveness[J]. *Applied Energy*, 2002, 73(3/4): 299-328.
- [36] 李辉.比较中日本结构建筑中的檐高与檐出的比例关系[C]//《营造》第五辑——第五届中国建筑史学国际研讨会会议论文集(上).广州:华南理工大学, 2010: 370-377.
LI Hui. A comparative study on the eave height to depth proportion between Chinese and Japanese traditional architecture[C]//The fifth volume of "construction"—Proceedings of the 5th International Conference on Chinese Architectural History (Part 1). Guangzhou: South China University of Technology, 2010: 370-377.
- [37] 侯幼彬,李婉贞.中国古代建筑历史图说[M].北京:中国建筑工业出版社, 2003.
HOU Youbin, LI Wanzhen. Historical illustration of ancient Chinese Architecture[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, Beijing, 2003.

(编辑 吴海西 沈波)